

## ДОСВІД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ВІТЧИЗНЯНИХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОСТОРОВИХ ГАРМОНІК МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Гетьман А.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний  
інститут», Україна, 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21*

Результатом досвіду робіт NASA і ESA по створенню космічних апаратів (КА) стали стандарти Європейського космічного агентства. Чимала частина стандартів ESA по електромагнітній сумісності присвячена захисту від шкідливого прояви магнітного поля і забезпечення штатного функціонування апаратури корисного навантаження і самого КА. Саме з метою забезпечення нормального функціонування КА і його обладнання була створена технологія відома як забезпечення магнітної чистоти. Технологія визначає порядок проведення заходів на всіх етапах розробки КА, а також контролю магнітних характеристик КА, його систем, блоків систем, окремих елементів блоків, матеріалів конструкцій КА.

В Україні ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля» спільно з організаціями-підрядниками також накопичили великий досвід робіт по забезпеченню магнітної сумісності апаратури і комплектуючих вітчизняних КА. При цьому для малих КА дистанційного зондування Землі українського виробництва «Мікроспутнік», «EgiptSat», Сич-2, Мікросат забезпечення магнітної чистоти є важливим не тільки з точки зору надійності функціонування, а також необхідно для підвищення точності орієнтації КА на орбіті.

Для задоволення вимог за призначенням місії КА, вимоги за магнітною чистотою повинні мати високий пріоритет на етапі проектування, на якому повинні бути ретельно проаналізовані компоненти КА і апаратури корисного навантаження на предмет можливого магнітного забруднення. На основі такого аналізу виробляють підбір і взаєморозташування комплектуючих КА. Складність полягає в тому, щоб обране компонування обладнання, інтегрованого в космічний апарат, не конфліктувало за іншими критеріями ефективного функціонування КА.

Практична реалізація технології забезпечення магнітної чистоти заснована на поетапному формуванні і контролі магнітних характеристик складових КА (рис. 1). Зниження і контроль рівнів магнітного забруднення КА проводять за такими основними етапами:

- 1) Оцінка на предмет магнітного забруднення компонентів і окремих частин; вибір оптимальних елементів.
- 2) Оптимізація частин блоків і друкованих плат.
- 3) Оптимізація компонентів по групах та орієнтації для їх взаємної компенсації.

4) Оптимізація компонування, що стосується безпеки компонентів під час виконання операцій розмагнічування.

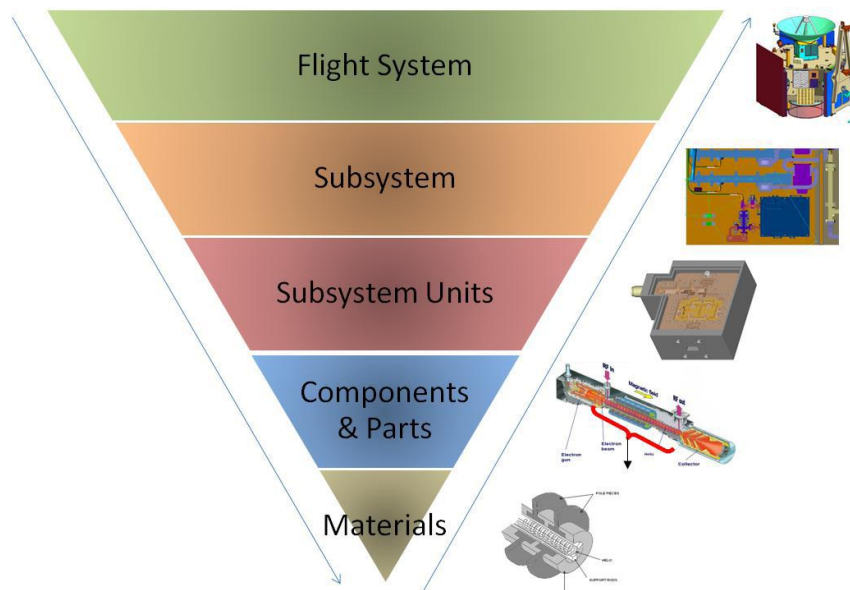


Рисунок 1 – Послідовність етапів технології забезпечення магнітної чистоти КА

Для нормування магнітного поля та магнітного моменту створюваного КА в космічній галузі пред'являються вимоги до складових частин КА за рівнем магнітних моментів у вигляді магнітного бюджету. Контроль нормованих рівнів магнітних моментів складових частин КА проводять на спеціалізованих магнітовимірювальних стендах, як частину технології забезпечення магнітної чистоти.

Однак такий підхід, заснований на єдиній характеристиці просторового розподілу магнітного поля - дипольному магнітному моменті, має вагомий недолік. Це некоректність використання дипольної моделі поблизу комплектуючих, оскільки при щільному компонуванні апаратури всередині КА на невеликих відстанях між його окремими комплектуючими модель джерела магнітного поля у вигляді точкового диполя має неприйнятну похибку (більш 50%). Перш за все це стосується апаратури та обладнання, яке містить у собі значні джерела магнітного моменту (більш ніж  $0,1 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ ) і тому розроблялось з вимогами по мінімізації магнітного моменту. Оскільки одним з результатів робіт по мінімізації магнітного моменту апаратури є ускладнення просторового розподілу магнітного поля, то для його адекватного опису слід застосовувати просторові гармоніки старших порядків, або старші мультиполі (квадруполь, октуполь і т.д.). Стандарт ESA ECSS-E-HB-20-07A рекомендує в таких випадках використовувати модель сферичних гармонік магнітного поля. Прикладом доцільності разом з магнітним моментом нормувати три-чотири старші просторові гармоніки є результати сферичного гармонічного аналізу магнітного поля давачів плазми із складу наукової апаратури КА Січ-2 та Мікросат.